

ПОРІВНЯННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПООДИНОКИХ ТА СУМІЩЕНИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОКРИСТАЛІЧНИХ НЕОДНОРІДНОСТЕЙ

Зінгер Я. Л., аспірантка; Попсуй В. І., ст. викладач;

Нелін Є. А., д.т.н., професор

КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

В радіoeлектронних системах різного призначення широко застосовують мікросмужкові пристрої. Один з напрямків розвитку таких пристроїв — використання двовимірних неоднорідностей у вигляді отвору або щілини різної форми в металізованій поверхні або в сигнальному провіднику [1–2]. Періодично розміщені, такі неоднорідності утворюють електромагнітний кристал (ЕК) з зонними властивостями, аналогічними кристалу.

Традиційні мікросмужкові неоднорідності — вузький або широкий відрізки смужкового провідника відповідно з високим або низьким хвильовим імпедансом. При виконанні умови $l < \lambda / 8$, де l — довжина відрізка; λ — довжина хвилі, такі неоднорідності еквівалентні квазісосередженим послідовній індуктивності та паралельній ємності [1].

Використання тривимірних ЕК-неоднорідностей як квазісосереджених реактивних елементів фільтрів забезпечує зменшення їх розмірів й розширення смуги подавлення [3]. Такі неоднорідності являють собою отвори різної форми: високоімпедансна — наскрізний отвір з нависним провідником (рис. 1, а), низькоімпедансна — глухий металізований отвір з боку сигнального провідника (рис. 1, б) або з боку металізованої поверхні (рис. 1, в).

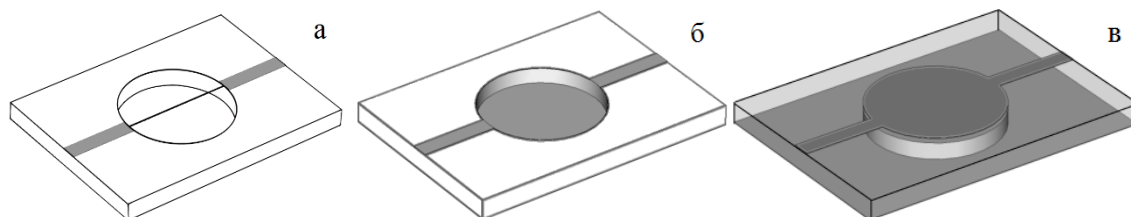


Рисунок 1. Поодинокі ЕК-неоднорідності круглої форми.

Сумістимо в тривимірній ЕК-неоднорідності низько- та високоімпедансну неоднорідності і назвемо її суміщеною. Порівняємо характеристики поодиноких та суміщених ЕК-неоднорідностей; надалі ПН та СН відповідно.

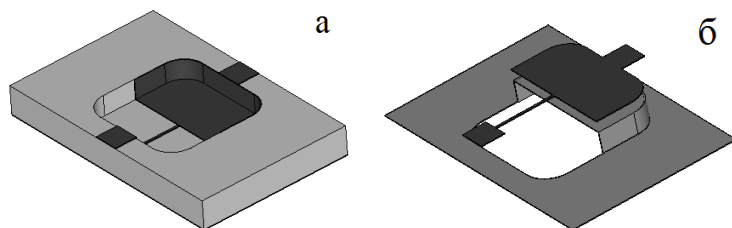


Рисунок 2. Суміщені ЕК-неоднорідності.

На рис. 2, а і б приведено СН, утворені глухими отворами з боку сигнального провідника (рис. 2, а) або з боку металізованої поверхні (рис. 2, б, основу

не показано) з частковою металізацією отвору. Сигнальний провідник неметалізованої частини отвору вузький. У неоднорідності на рис. 2, б форма сигнального провідника над металізованою частиною отвору повторює форму його дна. Неметалізована й металізована частини відповідають індуктивності та ємності.

ПН наближено моделюється відрізком лінії передачі. Одновимірну модель (рис. 3, врізка), як показано нижче, можна застосувати і для СН. Згідно цієї моделі для коефіцієнта проходження СН маємо:

$$T = 2 \sqrt{\frac{(g_B^2 + 1)(g_H^2 + 1)}{\left[2 - g_B g_H (z_B z_H^{-1} + z_B^{-1} z_H)\right]^2 + \left[g_B (z_B + z_B^{-1}) + g_H (z_H + z_H^{-1})\right]^2}},$$

де $g_{B,H} = \operatorname{tg} \varphi_{B,H}$; $\varphi_{B,H} = \beta_{B,H} l_{B,H}$, $\beta_{B,H} = 2\pi / \lambda_{B,H}$.

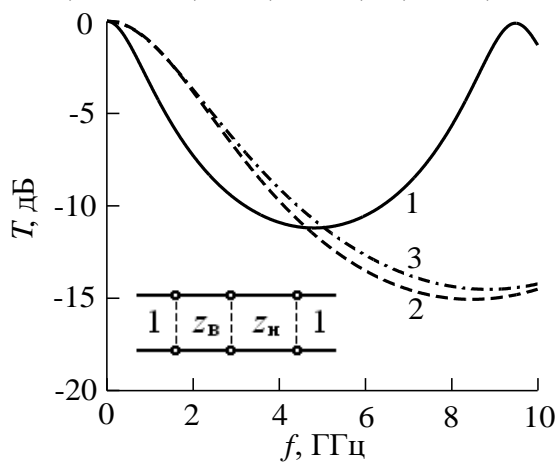


Рисунок 3. Залежності коефіцієнта проходження ПН (1) та СН (2, 3) згідно тривимірної (1, 2) та одновимірної (3) моделей; 1 і 2 — нормовані хвильові імпеданси лінії і СН, індекси «в» та «н» відповідають високому та низькому імпедансам.

Параметри одновимірної моделі, розраховані за формулами для мікросмужкової лінії [1], дорівнюють $z_B = 1,6$, $z_H = 0,15$, $\epsilon_B = 6,4$ та $\epsilon_H = 8,9$. Для врахування впливу бокових стінок СН значення $l_{B,H}$ збільшено до 3 мм.

Ефективність неоднорідності визначає мінімум коефіцієнта проходження T_m або еквівалентний для ПН і умовний для СН хвильовий імпеданс $z = (1 - \sqrt{1 - T_m^2}) / T_m$. Значення T_m для характеристик 1 і 2 дорівнюють $-11,2$ та $-15,1$ дБ, відповідні значення z — $0,14$ і $0,09$; ефективність СН у 1,6 рази вища. Крім того, для СН як квазісосереджених елементів приблизно вдвічі розширюється частотний діапазон.

На рис. 4 приведено характеристики ЕК на основі круглих ПН та СН з боку сигнального провідника. Сигнальний провідник СН виконано нависним дровим вздовж всієї неоднорідності. Параметри ПН та СН: діаметр отвору 6 мм, глибина отвору 0,8 мм, діаметр дровового провідника 0,1 мм.

На рис. 3 приведено характеристики ПН та СН. Форма СН відповідає рис. 2, а. Параметри ПН та СН: довжина сторони квадрата 5 мм, глибина отвору 0,9 мм, ширина вузького сигнального провідника 0,1 мм. В ПН металізовано увесь отвір, в СН — половину. Матеріал основи — Rogers RO3010, товщина 1,28 мм, відносна діелектрична проникність $\epsilon = 10,2$, тангенс кута діелектричних втрат 0,0023 на частоті 10 ГГц, товщина металізації 0,035 мм. Тривимірне моделювання виконано в програмі CST Microwave Studio.

Параметри одновимірної моделі,

В ПН металізовано увесь отвір, в СН — половину. Матеріал основи — Rogers RO3010, кількість неоднорідностей 3, період ЕК 9 мм.

Для ПН та СН значення T_m дорівнюють $-9,9$ та $-29,5$ дБ, відповідні значення z — $0,16$ і $0,02$. ЕК на основі СН має більш широку заборонену

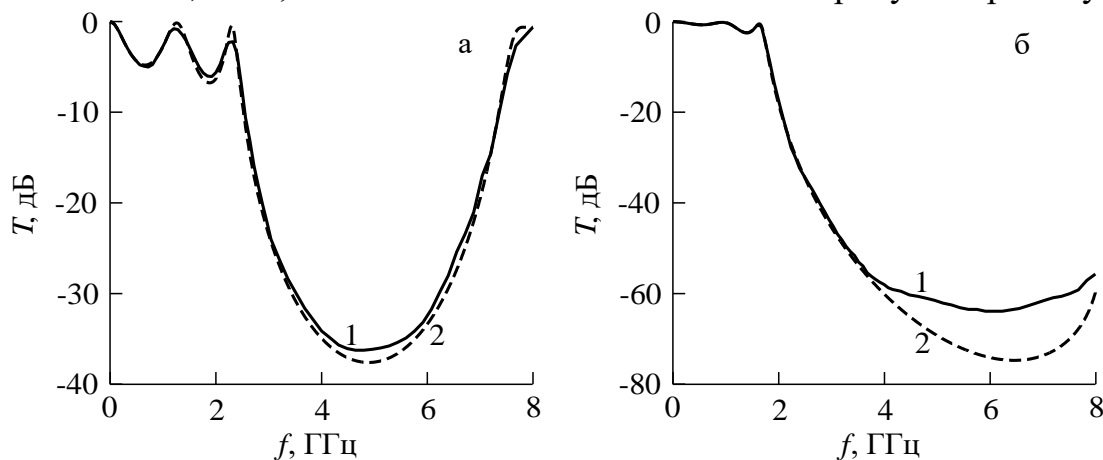


Рисунок 4. Експериментальні (1) та розрахункові (2) залежності коефіцієнта проходження ЕК на основі ПН (а) та СН (б).

зону, суттєво менші значення T_m і пульсації у дозволений зоні. Експериментальні та розрахункові значення T_m у забороненій зоні для ЕК на основі ПН та СН дорівнюють відповідно -36 і -38 дБ та -64 і -75 дБ.

СН мають значно вищу ефективність. Розрахункове та експериментальне значення T_m ЕК на основі СН менше на 37 та 28 дБ відповідно.

Перелік посилань

1. Hong J.-S. Microstrip Filters for RF/Microwave Applications / J.-S. Hong. — N. Y.: Wiley, 2011. — 656 p.
2. Xiao J.-K. Defected microstrip structure. Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering / J.-K. Xiao. — N. Y.: Wiley, 2013. — P. 1—8.
3. Nelin E. Microwave filter based on crystal-like reactive elements / E. Nelin, Y. Zinher // Перша науково-технічна конференція «РадіоЕлектроніка та ІнфоКомунікації», Україна, Київ, 11 – 16 вересня 2016 р. — С 53—56.

Анотація

Запропоновано суміщені електромагнітнокристалічні неоднорідності. Виконано порівняння характеристик поодиноких та суміщених неоднорідностей та електромагнітних кристалів на їх основі.

Ключові слова: електромагнітнокристалічна неоднорідність, електромагнітний кристал.

Аннотация

Предложены совмещенные электромагнитнокристаллические неоднородности. Выполнено сравнение характеристик одинарных и совмещенных неоднородностей и электромагнитных кристаллов на их основе.

Ключевые слова: электромагнитнокристаллическая неоднородность, электромагнитный кристалл.

Abstract

Combined electromagnetocrystalline inhomogeneities are proposed. Comparison of single and combined inhomogeneities characteristics are fulfilled.

Keywords: electromagnetocrystalline inhomogeneity, electromagnetic crystal.